

УДК 621.785

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Марина Александровна Макушина⁽¹⁾, Смирнов Андрей Евгеньевич⁽²⁾

Магистр 1 года⁽¹⁾, доцент⁽²⁾

кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: С.А. Пахомова,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Известно, что вакуумная цементация является передовым способом формирования диффузионных слоев, который используется всё более и более широко в современном машиностроении. Вакуумная цементация в ацетилене, который диссоциирует активно на поверхности стальной детали уже при 900...960 °С, обеспечивает высокую равномерность насыщения в глубоких отверстиях. Эти факторы и производство совершенных вакуумных печей, оснащённых системой упрочнения газом низкой деформации, которая хорошо организованной в зарубежных странах, способствуют широкому применению процесс [1, 2].

Для того чтобы обеспечить плавное изменение концентрации углерода в диффузионных слоях, вакуумная цементация обычно выполняется в режиме циклической подачи ацетилена, когда этапы насыщения чередуются с диффузионными этапами с выключенной подачей газа.

Несмотря на то, что процесс цементации в вакууме контролируется такими факторами, как температура и время, науглероживание в атмосфере низкого давления характеризуется многочисленными вариантами циклических режимов, которые могут быть либо периодическими, либо аperiodическим. Экспериментальный поиск этих вариантов является нецелесообразным по экономическим соображениям. Таким образом, наиболее эффективным методом выбора оптимальных технологических факторов является математическое моделирование процесса [3].

При моделировании использовалась система компьютерной поддержки процесса SIM VAC™ (Модуль SimCarb® – симулятор цементации).

Распределение концентрации углерода в аустените описывается выражением II-го закона Фика, учитывающим как атомную, так и реакционную диффузию углерода. После того как концентрация углерода в аустените превысит при данной температуре процесса предельную растворимость С_ε, поступающий поток углерода распределяется между твердым раствором и растущей избыточной карбидной фазой. При этом, часть атомов углерода, вступая в химическое соединение с атомами металлов, утрачивает способность к диффузии. Поэтому в систему уравнений следует подставлять концентрацию свободного, несвязанного углерода.

Для решения уравнения Фика аналитическим или численным методом необходимо задать начальные и граничные условия, определяемые из анализа процессов, происходящих при химико-термической обработке.

В результате моделирования получаем графики зависимости углерода в стали в зависимости от расстояния от поверхности (рис. 1) и данные о концентрации легирующих элементов (таблица 1).

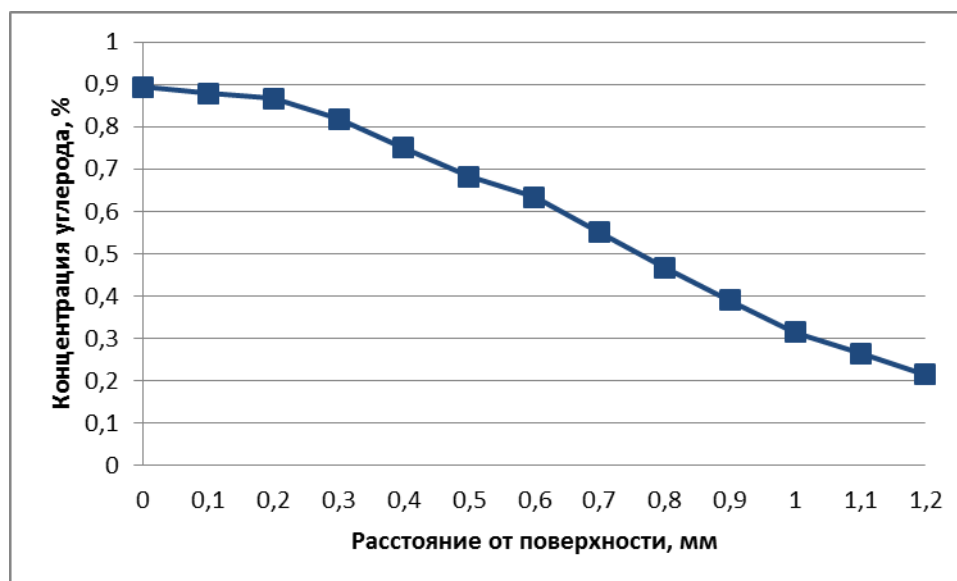


Рис. 1. Распределение углерода в зависимости от расстояния от поверхности

Таблица 1. Концентрация легирующих элементов низколегированных сталей

Расстояние от поверхности, мм	Концентрация легирующих элементов, %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
0	0,893	0,301	0,607	0,0161	0,0286	0,093	0,089	0,243
0,05	0,905	0,282	0,594	0,0170	0,0295	0,090	0,089	0,237
0,10	0,878	0,279	0,588	0,0162	0,0285	0,088	0,086	0,232
0,15	0,886	0,279	0,586	0,0149	0,0257	0,088	0,085	0,229
0,20	0,866	0,283	0,595	0,1550	0,0276	0,089	0,086	0,231
0,30	0,818	0,281	0,595	0,0180	0,0282	0,089	0,086	0,233
0,40	0,750	0,276	0,583	0,0141	0,0241	0,088	0,084	0,227
0,50	0,682	0,272	0,577	0,0137	0,0263	0,085	0,087	0,231
0,60	0,633	0,279	0,584	0,0144	0,0302	0,086	0,089	0,235
0,80	0,467	0,280	0,582	0,0156	0,0320	0,086	0,087	0,242
1,00	0,314	0,283	0,593	0,0166	0,0337	0,088	0,089	0,247
1,20	0,214	0,279	0,595	0,0167	0,0345	0,088	0,090	0,249
1,40	0,175	0,278	0,595	0,0168	0,0360	0,089	0,092	0,247

Заключение. Полученный после режима ВЦ слой приобретает твердую (60...64 HRC) поверхность, детали сохраняют вязкую (при твердости 38...43 HRC) сердцевину, устойчивую к ударным нагрузкам.

Литература

1. Рыжов Н.М., Смирнов А.Е., Фахуртдинов Р.С. Управление насыщенностью углеродом диффузионного слоя при вакуумной цементации теплостойких сталей // *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2004. – № 8 (590). – С. 22-27.
2. Рыжов Н.М., Смирнов А.Е., Фахуртдинов Р.С., Мулякаев Л.М., Громов В.И. Особенности вакуумной цементации теплостойкой стали в ацетилене // *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2004. – № 6 (588). – С. 10-15.
3. Семенов М.Ю., Смирнов А.Е., Рыжова М.Ю. Расчет концентрационных кривых углерода при вакуумной цементации сталей // *Металловедение и термическая обработка металлов*, 2013. – № 1 (691). – С. 38-42.